

## 伊宁市木本植物开花物候特征及其与环境因子关系研究

邹嘉琪<sup>1</sup>, 何秉宇<sup>1</sup>, 陈静<sup>2</sup>, 王妍<sup>1</sup>, 杨晓东<sup>3\*</sup> (1. 新疆大学资源与环境科学学院, 新疆乌鲁木齐 830046; 2. 伊犁师范大学生物与地理科学学院, 新疆伊宁 835100; 3. 宁波大学地理与空间信息技术系, 浙江宁波 315211)

**摘要** 从微观环境和宏观环境 2 个方面选取环境因子, 通过观测 2019 年观测样本开花物候的 3 个特征(始花期、败花期和开花持续时间), 分析开花物候与微观环境、宏观环境之间的关系。结果表明, 24 种木本植物的始花期为  $(94.00 \pm 17.88)$  d, 败花期为  $(108.00 \pm 21.65)$  d, 开花持续时间为  $(13.97 \pm 6.17)$  d; 开花持续时间的方差较小。木本植物植株个体的环境位置和微观环境差异影响到个体的规格大小, 道路两旁由于冬雪堆积融化的原因, 获得更好的微观环境条件, 植株规格更大, 表现出更早开花、更早败花、更短开花持续时间等特征; 不同物种木本植物微观环境对开花物候的影响程度不同, 对红山桃、美国皂荚、香花槐、夏橡和黄金树这 5 个物种存在显著影响, 但对小乔木和灌木开花物候没有显著作用。宏观环境因子的影响显著高于微观环境因子。相对于微观环境条件, 宏观环境因子对开花物候方差变化的贡献明显较高; 微观环境因子对开花物候呈负向作用, 宏观环境因子起正向作用, 且其中日照时数是开花物候变化的最主要贡献者。

**关键词** 木本植物; 开花物候; 特征; 宏观环境因子; 微观环境因子

中图分类号 X 173 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)16-0075-07

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.16.021



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Study on the Flowering Phenology of Woody Plants and Its Relationship with Environmental Factors in Yining City

ZOU Jia-qi<sup>1</sup>, HE Bing-yu<sup>1</sup>, CHEN Jing<sup>2</sup> et al (1. College of Resources and Environmental Science, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046; 2. College of Biological and Geographical Sciences, Yili Normal University, Yining, Xinjiang 835100)

**Abstract** This study selected environmental factors from the two aspects of micro-environment and macro-environment. By observing the three characteristics of flowering phenology (initial flowering period, abortion period and flowering duration) of the observed samples in 2019, the relationship between flowering phenology and micro-environment and macro-environment was analyzed. The results showed that the initial flowering period of 24 species of woody plants was  $94.00 \pm 17.88$  d, the abortive period was  $108.00 \pm 21.65$  d, and the flowering duration was  $13.97 \pm 6.17$  d. The variance of flowering duration was small. The individual environmental location and micro-environmental differences of woody plant plants affected the size of the individual. Due to the melting of winter snow on both sides of the road, better micro-environmental conditions were obtained, and the plant size was larger, showing earlier flowering, early abortion, with shorter flowering duration and other characteristics. The micro-environment of different species of woody plants had different effects on flowering phenology. It had significant effects on the five species of red mountain peach, honey locust, acacia, summer oak and golden tree, but had no significant effect on the flowering phenology of small trees and shrubs. The impact of macro-environmental factors was significantly higher than that of micro-environmental factors. Compared with micro-environmental conditions, the contribution of macro-environmental factors to the variance of flowering phenology was significantly higher. The micro-environmental factors had a negative effect on flowering phenology, and macro-environmental factors had a positive effect, and the sunshine hours was the most important factor in flowering phenology.

**Key words** Woody plants; Flowering phenology; Characteristics; Macro-environmental factors; Micro-environmental factors

开花物候作为植物重要的生活史特征, 它作用于传粉、种子扩散和生物授粉媒介而影响植物个体合适度<sup>[1-3]</sup>。开花物候涉及植物周期性开花现象的发生时间、持续时间和败花期等指标<sup>[2,4-5]</sup>。目前, 生态学家认为开花物候是由非生物因素中的环境因素决定的, 主要为宏观环境中的气象因子等, 包括温度、湿度、日照时数等<sup>[2,6-9]</sup>。然而, 除宏观环境因子外, 开花物候还受到哪些微观环境因子的影响目前仍然存在争议<sup>[10-12]</sup>。

学术界将植物对环境适应表现出的特征称之为植物功能性状, 局部地区植物的众多功能性状中, 植株规格也会因为周围微观环境的差异而在植物水肥资源获取与分配能力上产生差异<sup>[13-14]</sup>。最近几年研究表明, 微观环境因子被认为是影响开花物候的一个重要因素<sup>[15-16]</sup>。如 Ollerton 等<sup>[17]</sup> 监测局部地区百脉根 3 年的开花物候发现, 微观环境差异使获取较好水肥资源的植株规格更大, 且更早开花, 更早发育果

实; Bustamante 等<sup>[2]</sup> 研究柱状仙人掌生长物候及其与环境因素的关联发现, 同一种群中由于微观环境不同, 获得更多资源的个体比获取资源较少的个体规格更大, 且更早开花、开花时间更长; Jia 等<sup>[18]</sup> 研究发现 48 种高山草本植物的开花物候与微观环境差异显著相关, 并能通过直径和个体高度体现。Craine 等<sup>[14]</sup> 评估了北美草原的 431 种草本物种, 证实植物的始花期不受微观环境的影响。Neves 等<sup>[19]</sup> 在巴西东北部调查了半干旱气候中的植物群落, 发现相对微观环境因子, 用水策略是植物开花物候发生变化的重要原因。综合以上这些结果不难发现, 受微观环境即个体植株相对位置所影响的植株规格对开花物候是否存在显著影响以及存在影响的物种探究情况目前没有统一答案。

宏观环境因子中的气象因子被认为是影响开花物候最主要的一个环境因子, 微观环境的差异程度也会随气象变化而受到影响<sup>[7-9]</sup>。因此, 宏观环境因子和微观环境因子二者的联系不可忽视, 只探究微观环境因子这一个因素对开花物候的影响可能对宏观环境因子有所忽视, 之前的研究普遍都是将微观环境因子和宏观环境因子分开来单独考虑<sup>[20-21]</sup>, 这可能会夸大其中一个因素而忽略另一因素的影响, 很少探讨

**基金项目** 国家自然科学基金项目(41871031, 31860111)。

**作者简介** 邹嘉琪(1995—), 女, 新疆乌鲁木齐人, 硕士研究生, 研究方向: 环境区域污染控制。\* 通信作者, 副教授, 博士, 硕士生导师, 从事植物开花物候与生态保育研究。

**收稿日期** 2020-11-30

在2个因素的协同作用下,二者对开花物候影响程度的对比。该研究通过检测新疆伊宁市24种常见木本植物的3种开花物候特征(始花期、败花期和开花持续时间),分析它们与微观环境因子、宏观环境因子这2种环境因子之间的关系,研究受微观环境即个体植株的相对位置影响的植株规格对木本植物开花物候的影响情况及这种影响的种间差异性,并了解在宏观环境因子和微观环境因子协同作用下每个因子的影响程度。

## 1 资料与方法

**1.1 研究区概况** 观测样地伊犁师范大学(81°18′18″E, 43°56′14″N),位于中国西北边陲伊宁市,地处伊犁河谷盆地

中央。伊宁市属北温带大陆性气候,由于受到天山和向西敞开的喇叭形谷地的影响,每年可大量接受来自大西洋的湿润水汽。相对新疆其他地区,伊宁市气候湿润温和,四季分明,年平均气温10.5℃,年平均日照时数3 080.8 h,年平均降水量245.1 mm,无霜期190 d,具有丰富的水土光热资源优势<sup>[22]</sup>。使其成为新疆物种多样性最高的地区之一,是新疆研究开花物候的理想地区。为了尽可能多地收集木本植物,该研究在较为详细勘察的基础上,选择物种数量最多且样本为同批次栽种的同种植株观测点(图1),即新疆伊犁师范大学校园,分析微观环境因子和宏观环境因子这2种环境因子与开花物候之间的关系。

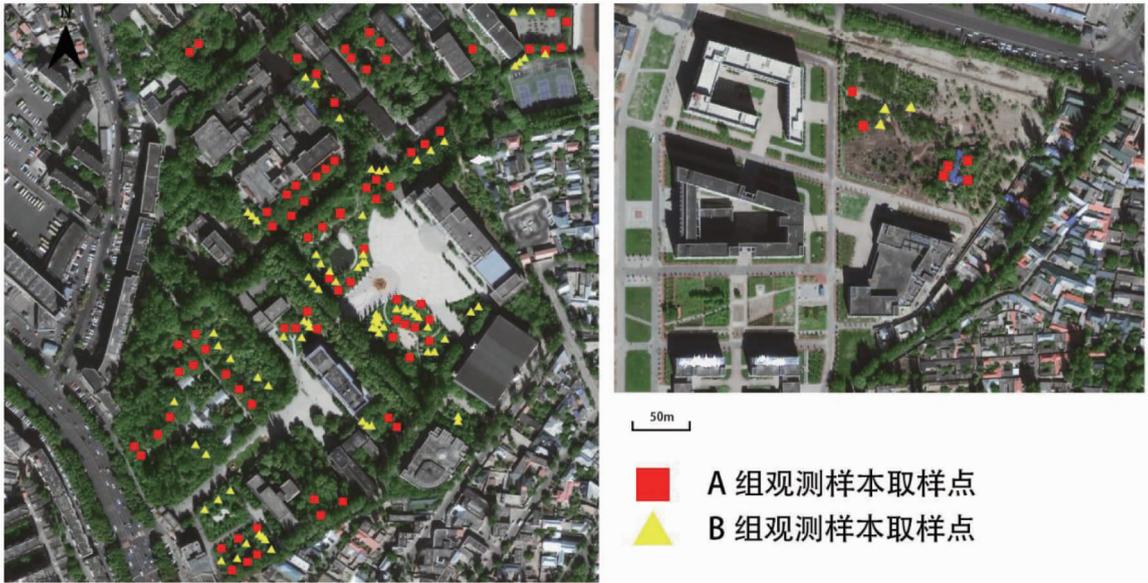


图1 研究区植物监测点位置

Fig.1 Location of plant monitoring points in the study area

**1.2 数据来源** 在2019年3月初至6月下旬,对新疆伊犁师范大学校园内木本植物的物种、植株位置、植株规格及开花物候进行实地调查,并记录样地的每日气象情况。该研究共调查了24种木本植物,涉及9个科,16个属,其中乔木20种,灌木4种。所有选择植株均做标记,每个物种均为同一栽种区域、同批次栽种树种。对于微观环境,每个物种至少选择3株小型植株和3株大型植株(小型植株为树高较矮、直径较小的个体;大型植株为树高较高、直径较大的个体),大型植株记为A组;小型植株记为B组。树高和直径分别使用测高仪和米尺测量,乔木直径测量其胸径,灌木直径测量其基径。对每一棵标记的植株,在其上随机选择2~3个枝条,特聘伊犁师范大学学生每日对选择植株的开花物候观测,并记录数据<sup>[23]</sup>。

该研究选取始花期、败花期和开花持续时间共3个开花物候的指标。其中,始花期是指植物样本2~3个枝上花瓣完全开放的时间;败花期为植物样本开花数量小于总开花数的5%的时间;开花持续时间是始花期与败花期的差值<sup>[24]</sup>。

对于宏观环境,该研究选取数据包括日最高温度、日最低温度、日相对湿度和日照时数,记录时间为2019年3月7

日—6月18日。

## 1.3 数据处理

**1.3.1 宏观环境数据处理。**该研究记录气象因子时间与植物花期时间一致,均为3月初至6月末。但期间由于记录者疏忽,3月7—19日的日照时数数据遗失。为补足缺失数据,根据北半球夏至前日照时数逐渐增加的规律,对已采集的数据进行线性拟合,得到遗失时段的日照时数(图2)。其中,日期换算具体数值方式为:以1月1日为标准,记录为0,其后日期转化为它与1月1日的日期间隔,如1月2日的转化数值为1。线性拟合结果显示, $R^2=0.98$ , $P$ 值<0.001,说明利用拟合的方法可以较好补足缺失日照时数数据。

**1.3.2 微观环境数据处理。**由于局部地区微观环境的差异,同批次栽种同种植物中植株规格也产生差异,观察发现靠近道路植株相对远离道路植株具有更大的规格,是因为冬季道路路边堆雪于春季融化,导致道路边植株将获得更好的水肥资源效益。因此,植株微观环境差异可通过同批同种植物的植株规格来反映。植株规格虽然可以采用树高和直径分别反映,但单独利用树高和直径反映植株规格时往往会出现偏差。比如,个体较大植株,数值很少在植株高度和直径上都

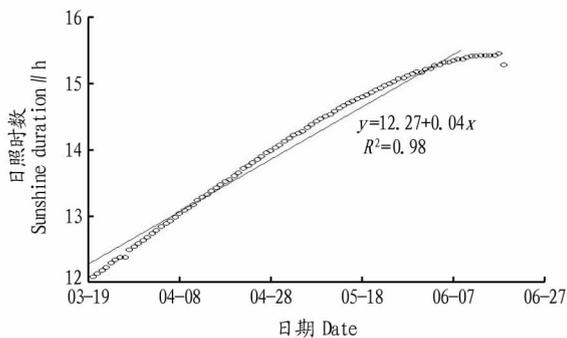


图2 日照时数数据线性拟合

Fig.2 Linear fitting of sunshine hours data

较高。为了更好地区分,该研究采用熵权法对树高和直径加权,得到反映植株规格的系统熵指数。具体地,利用系统熵反映直径与树高2个指标所提供信息量的大小,并依据指标变异性的确定指标的权重值<sup>[25]</sup>。计算步骤如下:

(1)数据标准化。将直径和树高2个指标设为  $X_1$  和  $X_2$ , 共有 161 个观测样本,即其中  $X_i = \{x_1, x_2, \dots, x_{161}\} (i=1, 2)$ , 对 2 个指标进行标准化,记标准化后矩阵为  $R = (r_{ij})_{m \times n} (i=1, 2; j=1, 2, \dots, 161)$ 。

(2)求 2 个指标的信息熵。根据信息论中信息熵的定义,通过公式(1)计算信息熵( $H_i$ )。

$$H_i = -k \sum_{j=1}^{161} f_{ij} \ln f_{ij} \quad (1)$$

式中,  $f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^{161} r_{ij}}, k = \frac{1}{\ln 161} = 0.197$ 。

(3)确定 2 个指标的熵权  $w_i$ 。根据公式(2),得到直径

的熵权  $w_1 = 0.39$ ,树高的熵权  $w_2 = 0.61$ 。

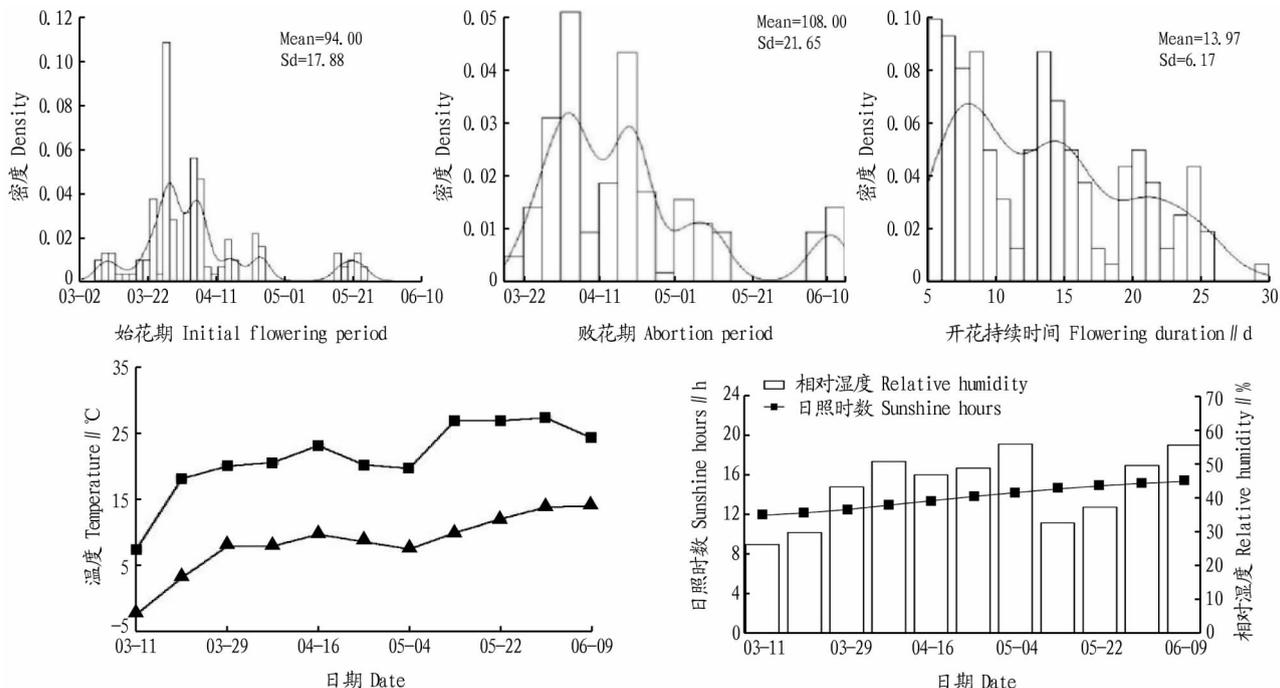
$$w_i = \frac{1 - H_i}{2 - H_1 - H_2} \quad (2)$$

依据 2 个权重对树高和直径进行加权,得到统一的衡量标准,并按加权后的数值将每个物种的个体归类为 A(大型植株)、B(小型植株)两组,以此体现局部地区的微观环境差异。

**1.3.3 数据分析方法。**该研究对利用频度分布加核密度曲线对伊犁木本植物的开花物候的分布特征进行基本描述。对宏观环境,每隔 9 d 求平均,并在平均值基础上用折线图加条形图进行基本描述。对微观环境,在对个体植株的相对位置观测的基础上,依据微观环境差异导致的植株规格差异,分别将每个物种划分为 A 组、B 组,并利用独立样本  $t$  检验分析开花物候在微观环境上的差别。最后,利用方差分解(hierarchical partitioning analysis)分析微观环境因子和宏观环境因子 2 个环境因子对开花物候的贡献。方差分解中,宏观环境因子是日照时数、相对湿度和平均温度的综合;微观环境差异通过局部地区同批次同种植株的直径和树高来体现。利用类泊松分布做广义线性模型(generalized linear models; GLM)分析每个宏观环境因子(日照时数、相对湿度和平均温度)以及微观环境差异的 2 个因子(直径和树高)与开花物候的具体关系。该研究的所有数据分析和图均用 R3.6.1 和 Origin Pro 2018 完成。

**2 结果与分析**

**2.1 木本植物的开花物候及观测期气象变化** 从表 1 和图3可以看出,伊宁市24种木本植物的始花期为(94.00±



注:始花期与败花期的 Mean 值以 2019 年 1 月 1 日为 0 计算并换算而得

Note: The mean value of the initial flowering period and the abortion period is calculated and converted from 0 on January 1, 2019

图3 伊宁市木本植物开花物候频度分布及气象情况

Fig.3 Frequency distribution of flowering phenology of woody species and meteorological factors in Yining City

表1 伊宁市木本植物植株的名录及开花物候

Table 1 List and flowering phenology of woody plants in Yining City

物种名 Species name	科 Family	属 Genus	植株直径 Plant diameter cm	树高 Tree height m	始花期 Initial flowering period//d	败花期 Abortion period//d	开花持 续时间 Flowering duration//d
白山桃 <i>Amygdalus davidiana</i>	蔷薇科 Rosaceae	桃属 <i>Amygdalus</i>	36.10±16.95	4.67±0.98	81.00±0.52	89.00±0.52	7.33±0.82
红山桃 <i>Amygdalus davidiana</i> f.rubra			47.66±18.74	39.50±0.93	80.00±1.51	88.00±0.50	7.56±1.51
榆叶梅 <i>Amygdalus triloba</i>			72.87±23.80	1.77±0.27	87.00±0.55	95.00±0.55	8.00±0.63
苹果 <i>Malus domestica</i>		苹果属 <i>Malus</i>	46.18±12.70	4.83±0.68	95.00±0.55	108.00±0.75	13.33±0.82
楸子 <i>Malus prunifolia</i>			22.08±6.26	4.25±1.74	95.00±0.52	110.00±0.52	15.00±0.89
三叶海棠 <i>Malus sieboldii</i>			28.78±2.32	3.25±0.88	94.00±0.75	105.00±0.41	10.67±1.03
西府海棠 <i>Malus micromalus</i>			29.95±4.47	4.67±0.52	92.00±0.55	101.00±0.75	9.67±1.03
杏 <i>Armeniaca vulgaris</i>		杏属 <i>Armeniaca</i>	60.86±26.13	6.56±1.24	86.00±0.00	95.00±0.00	9.00±0.00
紫叶李 <i>Prunus Cerasifera</i>		李属 <i>Prunus</i>	61.58±16.14	4.83±0.41	92.00±0.52	100.00±0.98	7.50±1.05
垂柳 <i>Salix babylonica</i>	杨柳科 Salicaceae	柳属 <i>Salix</i>	78.46±31.44	7.72±2.48	86.00±0.50	93.00±0.71	6.33±1.00
棉花柳 <i>Salix argyrea</i>			37.04±12.59	2.06±0.70	77.00±2.61	87.00±1.79	9.80±4.02
馒头柳 <i>Salix matsudana</i>			85.44±21.70	5.28±0.75	85.00±0.50	93.00±0.71	6.33±1.00
新疆杨 <i>Populus alba</i>		杨属 <i>Populus</i>	136.83±26.10	20.67±2.07	69.00±1.63	84.00±1.05	14.17±0.75
连翘 <i>Forsythia suspensa</i>	木樨科 Oleaceae	连翘属 <i>Forsythia</i>	51.02±24.18	1.67±0.38	85.00±1.17	111.00±0.98	26.00±2.00
小叶白蜡 <i>Fraxinus bungeana</i>		栲属 <i>Fraxinus</i>	89.17±13.87	6.83±0.75	96.00±0.89	108.00±1.05	11.50±1.38
紫丁香 <i>Syringa oblata</i>		丁香属 <i>Syringa</i>	103.50±44.89	3.67±2.45	94.00±0.50	109.00±0.78	15.44±0.88
红瑞木 <i>Swida alba</i>	山茱萸科 Cornaceae	楝木属 <i>Swida</i>	141.50±12.82	5.00±0.89	105.00±0.55	121.00±0.82	16.67±1.21
美国皂荚 <i>Gleditsia triacanthos</i>	豆科 Fabaceae	皂荚属 <i>Gleditschia</i>	97.52±28.88	27.50±4.59	103.00±1.63	124.00±1.21	21.67±0.82
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>		刺槐属 <i>Robinia</i>	85.72±35.00	8.42±2.94	113.00±0.82	129.00±0.63	16.33±1.21
香花槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> cv.idaho			23.27±6.29	3.75±0.82	112.00±0.75	132.00±0.89	19.83±0.41
夏橡 <i>Quercus robur</i>	壳斗科 Fagaceae	栎属 <i>Quercus</i>	70.38±25.42	10.50±3.15	66.00±1.21	81.00±1.05	14.17±0.41
紫玉兰 <i>Magnolia liliflora</i>	木兰科 Magnoliaceae	玉兰属 <i>Yulania</i>	28.72±9.22	3.92±0.58	86.00±0.52	111.00±0.75	25.17±0.75
黄金树 <i>Catalpa speciosa</i>	紫葳科 Bignoniaceae	梓属 <i>Catalpa</i>	73.91±40.38	7.50±2.10	141.00±1.54	163.00±0.71	21.89±1.36
火炬树 <i>Rhus typhina</i>	漆树科 Anacardiaceae	盐肤木属 <i>Sumak</i>	36.25±21.56	5.17±0.68	136.00±0.75	158.00±0.89	21.83±1.47

17.88) d, 分布范围为3月7日—5月24日; 败花期为(108.00±21.65) d, 分布范围为3月21日—6月15日; 开花持续时间为(13.97±6.17) d, 最短为5 d, 最长为30 d。核密度曲线表明, 始花期和败花期的方差远高于开花持续时间。开花物候的观测期内, 平均相对湿度为43.42%, 平均日照时数为13.83 h, 日平均温度为15.16 ℃。日照时数和平均温度均在开花物候观测期间呈上升趋势。

开花与败花峰值出现在3月末到4月末, 是因为这期间环境温度湿度显著上升, 为植物开花物候提供了优异的条件。开花和败花物候标准差较大, 不同物种的开花时间差异性明显, 但种内同步性很高, 因为每个物种的开花习性不同, 所反映的开花特征也不同<sup>[26-27]</sup>。其次, 不同物种不集中开花, 也可以避免在授粉过程中其他物种带来的影响, 增加自身授粉概率, 是物种自身针对授粉生态位选择的授粉策略, 在植物多样化中起着重要作用。而开花持续时间的标准差仅为6.17, 相较于开花时间和败花期更为稳定, 可能因为植物营养首先要用于生长, 再用于繁殖生长, 因此这是植株权衡自身养分分配与授粉概率后反映的较为稳定的性状。

**2.2 开花物候的微观环境差异** 根据植株微观环境的差异、直径和树高计算的信息熵, 将每种木本植物至少6个观测个体划分为A(大型植株)、B(小型植株)两组后, 利用独立样本 *t* 检验分析整体两组之间开花物候的差异, 结果发现, A组

植株始花期为(92.00±15.71) d, 分布范围为3月7日—5月21日; 败花期为(106.00±19.24) d, 分布范围为3月21日—6月13日; 开花持续时间为(13.91±6.09) d。B组植株始花期为(96.00±19.77) d, 分布范围为3月9日—5月24日; 败花期为(110.00±23.80) d, 分布范围为3月23日—6月14日; 开花持续时间为(14.04±6.29) d(图4)。

独立样本 *t* 检验的结果表明, 始花期 ( $F = 4.52, P = 0.15$ )、败花期 ( $F = 3.76, P = 0.20$ ) 和开花持续时间 ( $F = 0.13, P = 0.68$ ) 均在微观环境上没有显著差异(图4)。这是因为不同物种样本差异性较大, 数据相对离散, 会对计算结果产生影响。另外, 伊宁市整体水土光热资源丰富, 植株生长环境具有优势, 对局部地区水肥资源上的竞争不激烈, 所以减弱了局部地区微观环境对开花物候的影响。但对比数值后发现, A组植株最小值、最大值与均值都更低(图4), 说明微观环境条件较好的植株可更早开花、更早败花, 这与前人的研究成果一致<sup>[17]</sup>。现场观察表明, A组植株环境位置均更靠近道路旁, 由于冬季积雪堆积, 春季积雪融化, 在局部微观环境条件上存在一定优势。同时可以看出, A组植株开花持续时间更短(图3), 可能是因为植株较大的个体, 将养分用于自身生长而更少地用于繁殖生长, 而植株较小的个体将养分用于增长开花持续时间, 增加授粉概率。另外, 在3个开花物候的指标中, A组植株标准差均更小, 说明其开花物候更为

稳定(图 3),可能是因为植株占有更好的微观环境条件时, 气候变化的影响与资源争夺压力都会更小。

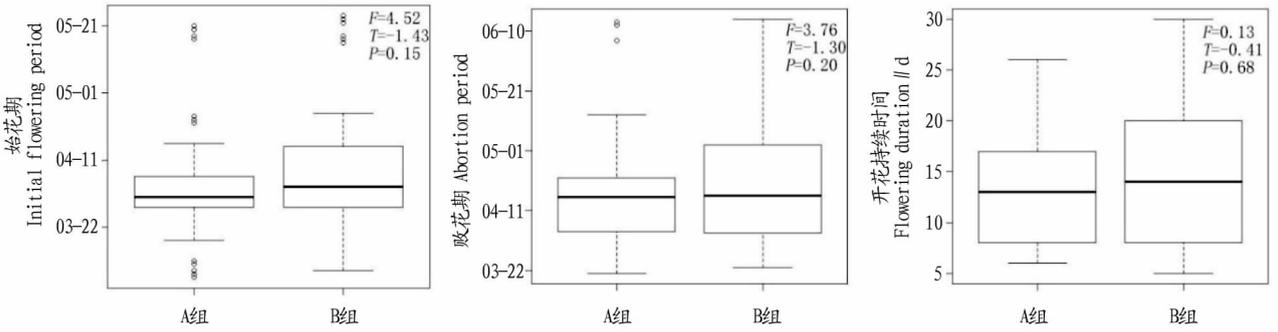


图 4 伊宁市整体开花物候不同微观环境条件的差异

Fig.4 Differences in different micro-environmental conditions of overall flowering phenology in Yining City

为了进一步探究哪些物种的开花物候受局部地区微观环境条件的影响,在单个物种层面,利用独立样本 *t* 检验重新在同种间分析不同微观环境条件的 A、B 两组植株开花物候的差异。结果发现(表 2),存在显著差异的有红山桃的始花期和开花持续时间,美国皂荚的败花期、香花槐的败花期、夏橡的始花期和败花期、黄金树的始花期和开花持续时间。相反,其余物种的开花物候不存在显著差异。

观察数据分析表明,开花物候存在显著差异的物种均为

个体较大的乔木,相反,树高较矮的乔木和灌木没有显著性差异。推测局部地区微观环境条件对乔木开花物候的影响大于对灌木开花物候的影响,可能是因为灌木的直径和树高在同一物种间差异性不大,其针对授粉有多重策略,能很好地在群落中共存,相较乔木受到更少的微观环境差异影响。其次,拥有更好微观环境条件的物种,所受到其他物种遮蔽干扰的情况就更少,其种内差异也会更大,易产生较明显的对比。

表 2 伊宁市 24 个物种的开花物候在不同微观环境条件间的差异

Table 2 Differences of flowering phenology of 24 species in Yining City under different micro-environmental conditions

物种名 Species name	生活型 Life form	始花期 Initial flowering period				败花期 Abortion period				开花持续时间 Flowering duration			
		A 组 A group	B 组 B group	F 值 F value	P 值 P value	A 组 A group	B 组 B group	F 值 F value	P 值 P value	A 组 A group	B 组 B group	F 值 F value	P 值 P value
白山桃 <i>Amygdalus davidiana</i>	乔木	81.00± 0.58	81.00± 0.58	0.00	1.00	89.00± 0.00	89.00± 0.00	16.00	0.18	7.00± 1.00	7.67± 0.58	1.00	0.37
红山桃 <i>Amygdalus davidiana f. rubra</i>		81.00± 0.55	79.00± 1.50	9.05	<0.05	88.00± 0.00	88.00± 0.82	0.00	1.00	6.60± 0.55	8.75± 1.50	9.05	<0.05
苹果 <i>Malus domestica</i>		94.00± 0.58	95.00± 0.58	0.50	0.52	107.00± 0.58	108.00± 0.58	4.50	0.10	13.00± 0.00	13.67± 1.15	16.00	0.42
楸子 <i>Malus prunifolia</i>		95.00± 0.00	96.00± 0.58	16.00	0.18	110.00± 0.58	110.00± 0.58	0.00	1.00	14.67± 0.58	15.33± 1.15	0.80	0.42
三叶海棠 <i>Malus sieboldii</i>		94.00± 1.00	94.00± 0.58	0.03	0.64	105.00± 0.58	105.00± 0.00	16.00	0.42	10.67± 1.53	10.67± 0.58	0.00	1.00
西府海棠 <i>Malus micromalus</i>		92.00± 0.58	91.00± 0.58	0.50	0.52	101.00± 1.00	101.00± 0.58	0.25	0.64	9.33± 1.15	10.00± 1.00	0.57	0.49
杏 <i>Armeniaca vulgaris</i>		86.00± 0.00	86.00± 0.00	0.00	0.52	95.00± 0.00	95.00± 0.00	0.00	0.52	9.00± 0.00	9.00± 0.00	0.00	0.23
紫叶李 <i>Prunus Cerasifera</i>		92.00± 0.58	92.00± 0.58	0.00	1.00	100.00± 0.58	99.00± 1.15	1.80	0.25	8.00± 1.00	7.00± 1.00	1.50	0.29
垂柳 <i>Salix babylonica</i>		86.00± 0.58	86.00± 0.52	0.00	1.00	93.00± 1.00	93.00± 0.55	1.00	0.35	6.67± 1.15	6.17± 0.98	0.47	0.52
棉花柳 <i>Salix argyracea</i>		78.00± 2.08	77.00± 4.24	0.06	0.82	87.00± 2.31	87.00± 1.41	0.03	0.87	9.67± 4.04	10.00± 5.66	0.01	0.94
馒头柳 <i>Salix matsudana</i>		86.00± 0.00	87.00± 0.50	11.67	0.06	93.00± 0.96	93.00± 0.58	0.37	0.56	6.80± 0.96	5.57± 0.96	3.09	0.12
新疆杨 <i>Populus alba</i>		69.00± 1.53	70.00± 1.73	1.00	0.37	83.00± 1.00	84.00± 1.00	1.50	0.29	14.33± 0.58	14.00± 1.00	0.25	0.64
小叶白蜡 <i>Fraxinus bungeana</i>		95.00± 0.96	96.00± 0.71	0.92	0.39	107.00± 0.96	108.00± 1.41	0.62	0.47	11.50± 1.73	11.50± 0.71	0.00	1.00
美国皂荚 <i>Gleditsia triacanthos</i>		101.00± 1.15	104.00± 0.00	16.00	0.06	123.00± 0.58	125.00± 0.58	18.00	<0.05	22.00± 1.00	21.33± 0.58	1.00	0.37

接下表

续表 2

物种名 Species name	生活型 Life form	始花期 Initial flowering period				败花期 Abortion period				开花持续时间 Flowering duration							
		A 组		B 组		F 值		P 值		A 组		B 组		F 值		P 值	
		A group	B group	F value	P value	A group	B group	F value	P value	A group	B group	F value	P value				
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>		112.00±0.58	112.00±1.15	0.00	1.00	129.00±0.58	128.00±0.58	2.00	0.23	16.67±0.58	16.00±1.73	0.40	0.56				
香花槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>		111.00±0.58	112.00±0.58	4.50	0.10	131.00±0.58	132.00±0.58	8.00	<0.05	19.67±0.58	20.00±0.00	16.00	0.42				
夏橡 <i>Quercus robur</i>		65.00±0.58	67.00±0.58	18.00	<0.05	79.00±0.58	81.00±0.58	12.50	<0.05	14.33±0.58	14.00±0.00	16.00	0.42				
紫玉兰 <i>Magnolia liliflora</i>		85.00±0.58	85.00±0.58	0.00	1.00	111.00±0.58	110.00±0.58	4.50	0.10	25.67±0.58	24.67±0.58	4.50	0.10				
黄金树 <i>Catalpa speciosa</i>		139.00±0.58	142.00±0.89	21.33	<0.01	162.00±0.58	163.00±0.75	1.00	0.35	23.33±1.15	21.17±0.75	11.95	<0.05				
火炬树 <i>Rhus typhina</i>		136.00±0.71	136.00±0.82	0.53	0.51	157.00±0.00	158.00±0.58	12.00	0.25	20.50±0.71	22.50±1.29	3.88	0.12				
榆叶梅 <i>Amygdalus triloba</i>	灌木	86.00±0.58	86.00±0.58	0.50	0.52	94.00±0.58	94.00±0.58	0.50	0.52	8.33±0.58	7.67±0.58	2.00	0.23				
连翘 <i>Forsythia suspensa</i>		85.00±0.50	84.00±1.41	5.94	0.07	110.00±0.50	112.00±1.41	3.03	0.16	25.00±0.00	28.00±2.83	12.00	0.37				
紫丁香 <i>Syringa oblata</i>		93.00±0.52	93.00±0.58	0.00	1.00	109.00±0.82	108.00±0.58	1.56	0.25	15.67±0.82	15.00±1.00	1.17	0.32				
红瑞木 <i>Swida alba</i>		104.00±0.71	104.00±0.58	0.00	1.00	120.00±0.71	121.00±0.50	6.67	0.06	15.50±0.71	17.25±0.96	5.03	0.09				

**2.3 微观环境和宏观环境对开花物候的协同影响** 为了进一步探究微观环境因子和宏观环境因子对开花物候的协同影响,采用方差分析和 GLM 的显著性检验探究 2 个环境因子的贡献占比和协同影响时每个因子对开花物候影响的具体情况。结果表明(图 5),宏观环境因子的影响显著高于微观环境因子;相对于微观环境条件,宏观环境因子对 3 种开花物候特征方差贡献率均较大。在 3 个开花物候的特征中,微观环境因子对开花持续时间方差的贡献率明显高于它对始花期和败花期的贡献率。

为了更深一步验证微观环境因子和宏观环境因子对开

花物候的影响是否在整个物种层面(24 个物种),以及 5 个大乔木物种之间具有一致性。该研究重新利用方差分析在 5 个大乔木的数据基础上,验证了微观环境因子和宏观环境因子分别对开花物候方差变异的贡献。结果发现,类似整个物种层面,宏观环境因子对开花物候方差变异的贡献明显高于微观环境因子。但存在一些区别,即在 5 个大乔木物种层面,微观环境因子对开花物候方差变异的影响明显高于整个物种层面。说明局部地区微观环境差异对开花物候的影响存在种间差异,它对大乔木种的影响明显强于小乔木和灌木种。

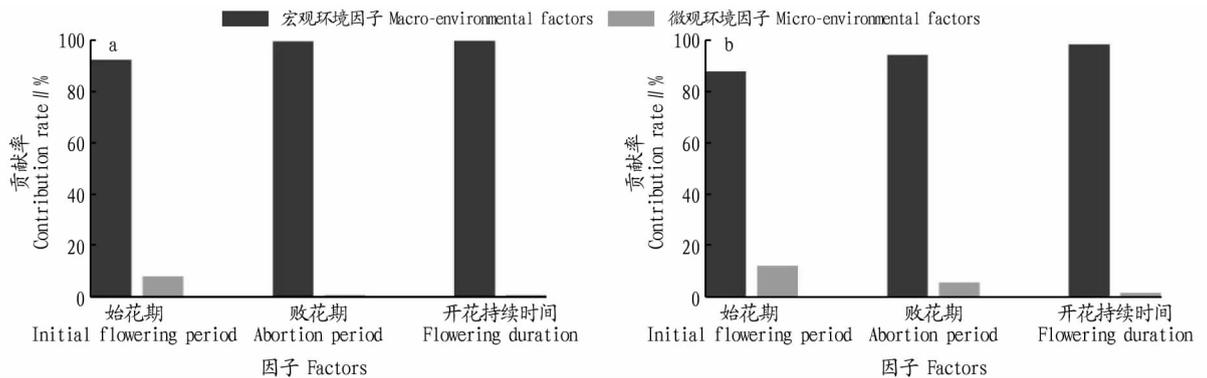


图 5 伊宁市 24 个(a)和 5 个(b)乔木物种宏观环境因子和微观环境因子对开花物候的贡献

Fig.5 The contribution of 24 (a) and 5 (b) tree species macro-environmental factors and micro-environmental factors to flowering phenology in Yining City

GLM 的显著性检验结果(表 3)表明,微观环境因子和宏观环境因子对开花物候的影响在 3 个物候特征之间存在差别。具体地,日照时数、相对湿度、日最高温度和最低温度均对始花期和败花期存在显著影响,但对开花持续时间,仅日照时数和日最高温度存在显著影响。相反,在微观环境差异

上,仅直径对始花期存在显著影响,与其余物候特征之间没有显著联系;高度与 3 种开花物候特征均没有显著联系。另外,从解释变量的数值来看,微观环境因子估计值大多小于 0,相反,宏观环境因子的估计值多大于 0,说明微观环境差异对开花物候呈负向作用,宏观环境差异起正向作用。换句话

说,微观环境较好的植株利于植物早开花、早败花。相反,宏观环境较好利于延后开花物候。在显著相关的宏观环境因子中,日照时数估计值的数量级明显高于温度和湿度,说明

日照时数是开花物候变化的主要贡献者。之后,温度(包括日最高温和日最低温)的数量级高于湿度,说明温度是物候变化的次要贡献者。

表 3 伊宁市 24 个物种微观环境和宏观环境的贡献占比

Table 3 The contribution proportion of the micro-environment and macro-environment of 24 species in Yining City

协同因素 Synergy factors	始花期 Initial flowering period		败花期 Abortion period		开花持续时间 Flowering duration		
	估计值 Estimate	P 值 P value	估计值 Estimate	P 值 P value	估计值 Estimate	P 值 P value	
(Intercept)	1.90	< 0.001	1.85	< 0.001	-2.14	< 0.01	
微观环境 Micro-environment	直径 Diameter	0.00	< 0.001	0.00	0.55	0.00	
	树高 Tree height	0.00	0.84	0.00	0.30	0.01	
宏观环境 Macro-environment	日照时长 Sunshine duration	0.19	< 0.001	0.21	< 0.001	0.47	
	相对湿度 Relative humidity	0.00	< 0.001	0.00	< 0.05	0.00	
	日最高温度 Daily maximum temperature	0.00	< 0.001	0.00	< 0.1	-0.08	
	日最低温度 Daily minimum temperature	0.00	< 0.001	0.00	< 0.001	0.01	
模型参数 Model parameter	F-test (P value)	355 319 (< 0.001)		1 343 144 (< 0.001)		546.78 (< 0.001)	
	R <sup>2</sup>	>0.99		>0.99		0.76	

### 3 结论

本研究通过收集新疆伊宁市 24 种常见木本植物的开花物候数据,分析微观环境因子和宏观环境因子这 2 个环境因子与开花物候的关系,结果发现,始花期和败花期在 24 种常见木本植物的种间差异较大,但开花持续时间较为稳定;木本植物植株个体环境位置影响到个体植株的微观环境,道路两旁的植株由于冬雪堆积融化的原因,获得较好的微观环境条件,规格更大且更早开花、更早败花,具有更短的开花持续时间。微观环境对开花物候的影响存在种间差异;对红山桃、美国皂荚、香花槐、夏橡和黄金树这 5 个物种存在显著影响,但对灌木和小乔木的影响不显著。宏观环境因子的影响显著高于微观环境因子,宏观环境因子对开花物候方差变化的贡献明显较高。微观环境较好对开花物候呈负向作用,宏观环境较好起正向作用,且日照时数是开花物候变化的最主要驱动者。该研究结果对局部地区微观环境对植株生长影响、微观环境和宏观环境 2 个环境因子与植物物候之间的关系、联合微观环境和宏观环境对开花物候进行分析和补充物候学理论,均具有重要意义。

### 参考文献

[1] SUN S C, FRELICH L E. Flowering phenology and height growth pattern are associated with maximum plant height, relative growth rate and stem tissue mass density in herbaceous grassland species[J]. Journal of ecology, 2011, 99(4): 991-1000.

[2] BUSTAMANTE E, BÚRQUEZ A. Effects of plant size and weather on the flowering phenology of the organ pipe cactus (*Stenocereus thurberi*) [J]. Annals of botany, 2008, 102(6): 1019-1030.

[3] LYONS E E, MULLY T W. Density effects of flowering phenology and mating potential in *Nicotiana glauca* [J]. Oecologia, 1992, 91(1): 93-100.

[4] OSADA N, SUGIURA S, KAWAMURA K, et al. Community-level flowering phenology and fruit set: Comparative study of 25 woody species in a secondary forest in Japan [J]. Ecological research, 2003, 18(6): 711-723.

[5] WILKE B J, IRWIN R E. Variation in the phenology and abundance of flowering by native and exotic plants in subalpine meadows [J]. Biological invasions, 2010, 12: 2363-2372.

[6] BATALHA M A, MARTINS F R. Reproductive phenology of the cerrado plant community in Emas National Park (central Brazil) [J]. Australian journal of botany, 2004, 52(2): 149-161.

[7] KWEMBEYA E G, PAZVAKAWAMBWA L. The changing flowering phenology of *Crinum lilies* in arid and semi-arid regions: Implications for phenological responses to climate change [J]. Biologia, 2019, 74(11): 1465-1474.

[8] LAW B, MACKOWSKI C, SCHOER L, et al. Flowering phenology of myrtaceous trees and their relation to climatic, environmental and disturbance variables in northern New South Wales [J]. Austral ecology, 2000, 25(2): 160-178.

[9] ZHANG J H, YI Q F, XING F W, et al. Rapid shifts of peak flowering phenology in 12 species under the effects of extreme climate events in Macao [J]. Scientific reports, 2018, 8(1): 1-9.

[10] GONZÁLEZ-PARRADO Z, FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ D, VEGA-MARAY A M, et al. Relationship between flowering phenology, pollen production and atmospheric pollen concentration of *Plantago lanceolata* (L.) [J]. Aerobiologia, 2015, 31(4): 481-498.

[11] RANJITKAR S, LUEDELING E, SHRESTHA K K, et al. Flowering phenology of tree rhododendron along an elevation gradient in two sites in the Eastern Himalayas [J]. International journal of biometeorology, 2013, 57(2): 225-240.

[12] ESTIARTE M, PUIG G, PEÑUELAS J. Large delay in flowering in continental versus coastal populations of a Mediterranean shrub, *Globularia alypum* [J]. International journal of biometeorology, 2011, 55(6): 855-865.

[13] DIAZ S, CABIDO M, CASANOVES F. Plant functional traits and environmental filters at a regional scale [J]. Journal of vegetation science, 1998, 9(1): 113-122.

[14] CRAINE J M, WOLKOVICH E M, GENE TOWNE E, et al. Flowering phenology as a functional trait in a tallgrass prairie [J]. New phytologist, 2012, 193(3): 673-682.

[15] 侯嫚嫚, 李晓宇, 王均伟, 等. 长白山针阔混交林不同演替阶段群落系统发育和功能性状结构 [J]. 生态学报, 2017, 37(22): 7503-7513.

[16] KÖNIG P, TAUTENHAHN S, CORNELISSEN J H C, et al. Advances in flowering phenology across the Northern Hemisphere are explained by functional traits [J]. Global ecology and biogeography, 2018, 27(3): 310-321.

[17] OLLERTON J, LACK A. Relationships between flowering phenology, plant size and reproductive success in shape *Lotus corniculatus* (Fabaceae) [J]. Plant ecology, 1998, 139(1): 35-47.

[18] JIA P, BAYAERTA T, LI X Q, et al. Relationships between flowering phenology and functional traits in eastern Tibet alpine meadow [J]. Arctic antarctic alpine research, 2011, 43(4): 585-592.

[19] NEVES S P S, MIRANDA L D P, ROSSATTO D R, et al. The roles of rainfall, soil properties, and species traits in flowering phenology along a savanna-seasonally dry tropical forest gradient [J]. Brazilian journal of botany, 2017, 40(3): 665-679.

到位、土地流转不规范、流转土地难于集中成片等问题,影响土地流转的进度和质量。此外,有一部分农民思想保守,对土地流转存在一定顾虑,担心土地流转后就享受不了国家的惠农政策;同时,由于务工收入不稳定,部分农民担心自己想种地时无地可种,所以宁愿耕地撂荒也不愿让他人耕种,进而导致土地流转困难,出现耕地撂荒现象<sup>[14]</sup>。

#### 4 解决静宁县耕地撂荒问题的对策建议

**4.1 加强耕地监督管理,约束撂荒行为** 发挥自然资源、农业农村部门职能及各乡镇人民政府的作用,加强耕地监督管理,严格依法依规管地。全面开展静宁县耕地撂荒问题调查研究,充分掌握全县耕地撂荒现状,深入分析撂荒原因,积极采取有效措施解决全县耕地撂荒问题,使有限的耕地资源得以充分利用,让农村经济稳定健康的发展<sup>[14]</sup>。

根据《土地管理法》第 37 条规定,各村对撂荒 2 年以上的耕地,由村集体督促承包户及时复垦恢复种植;对既不复耕又不流转的,由村组集体强令收回重新发包,同时追究撂荒耕地所造成的后果。对因承包户全家迁入城镇并转为非农户口无力耕种而撂荒的,收回村集体重新发包<sup>[14]</sup>。村集体应对本村撂荒地登记造册,鼓励本村有耕种能力的农民进行耕种,并给予其一定的惠农补贴,以此来调动农民耕种撂荒地的积极性,从而减少耕地撂荒<sup>[2]</sup>。

**4.2 加快土地流转** 土地流转工作是农业现代化快速发展的需要,是贯彻落实党的农村土地政策的工作重点。要做好静宁县土地流转工作,一要把土地流转相关的方针政策宣传到位,把农业生产规模化的优势讲解明白,让农民切实认识到土地流转在加快农业现代化发展中的重要作用,明白土地流转给群众带来的好处,促使农户彻底改变传统的守地思想;二要建立健全合理的流转服务机制,正确规范引导静宁县农村土地有序流转,规范流转合同,化解农村矛盾,提高农民收入,确保农民权益;三要加大政策扶持力度,政府部门应对流转撂荒地的农业新型经营主体或个体给予一定的资金奖补,同时协调金融部门在项目、信贷等方面给予优先支持。

**4.3 创新农业模式,大力发展特色产业** 要更好地解决全县耕地撂荒问题,最有效的手段就是创新农业模式,加快产业结构调整和优化农产品布局。各乡镇要根据本辖区的产业优势和土地资源特点,以市场为导向实施好产业调整,实现产业合理布局<sup>[3]</sup>;积极创新新型农业经营模式,建立农民专业合作社、家庭农场等,实现大户带动散户、大户带动全村的目標,并积极引导企业与农民发展“订单农业”,切实解决农

产品销售问题,确保农民经济增收;大力推行适度规模经营制度,让土地、劳动力、资金、设备、经营管理、信息等形成最优组合并有效运行,提升最佳经济效益,吸引农民留在农村。此外,上级政府要加大产业引导及相关补助,以提高农民发展种植业的积极性。

**4.4 提高认识,加强宣传教育** 耕地撂荒是当前农村发展中的一个新问题,这既是一个经济问题,也是一个社会问题,不但影响农民利益和农村经济发展,而且影响农村社会稳定。各乡镇一定要以高度的政治责任感和历史使命感,充分认识解决农村耕地撂荒的紧迫性、艰巨性和长期性,应把解决农村耕地撂荒问题摆到与新农村建设和城乡统筹发展同等重要的位置,与农村发展、改革和稳定大局结合起来解决,实行综合治理。采取法律、行政、经济和政策手段,努力解决农村耕地继续撂荒的问题,构建文明、和谐、民主、美丽的社会主义新农村。同时,各村要加大《农村土地承包法》《土地管理法》《基本农田保护条例》等法律法规及各种扶持政策的宣传力度,做到家喻户晓,人人皆知。通过宣传教育,让广大农民群众全面了解相关法律法规、政策的基本内容,增强保护自己合法权益的意识和履行义务的自觉性。

#### 参考文献

- [1] 李秀彬,赵宇鸾.森林转型、农地边际化与生态恢复[J].中国人口·资源与环境,2011,21(10):91-95.
- [2] 常连余,李天科.静宁县农村耕地撂荒情况的调查与思考[J].农业开发与装备,2014(8):21-22.
- [3] 莫警.对当前农村耕地大面积撂荒现象的思考[J].企业家天地,2008(1):166-167.
- [4] 李升发,李秀彬.耕地撂荒研究进展与展望[J].地理学报,2016,71(3):370-389.
- [5] 肖国峰,朱秀芳,侯陈瑶,等.撂荒耕地的提取与分析:以山东省庆云县和无棣县为例[J].地理学报,2018,73(9):1658-1673.
- [6] 谢洋.关于当前农村土地抛荒问题的思考[J].安徽农业,2004(11):78-79.
- [7] 朱小文,马能文,胡鹏飞,等.近 20 年陇东黄土高原耕地撂荒及其驱动力研究:以甘肃省平凉市崆峒区为例[J].中国农学通报,2019,35(9):95-101.
- [8] 周丽娟,冉瑞平,林武阳,等.农户耕地撂荒影响因素研究:基于宜宾市南溪区 158 户农户的调查[J].农村经济,2014(4):46-50.
- [9] 张英,李秀彬,宋伟,等.重庆市武隆县农地流转下农业劳动力对耕地撂荒的不同尺度影响[J].地理科学进展,2014,33(4):552-560.
- [10] 张亮,丁明军,殷悦.鄱阳湖平原耕地撂荒现状及其驱动因素分析[J].江西师范大学学报(自然科学版),2018,42(1):38-44.
- [11] 朱婷,伍引凤,刘娜,等.四川省武胜县耕地撂荒问题研究[J].安徽农业科学,2014,42(26):9183-9185.
- [12] 任晓敏.对农村耕地撂荒的原因及影响的分析[J].商,2015(52):27.
- [13] 许捷.陇东地区土地撂荒的成因与对策:以甘肃省镇原县为例[J].陇东学院学报,2017,28(6):123-126.
- [14] 黎余华,华艺棋,黎榕,等.会昌县土地撂荒问题及对策研究[J].现代农业科技,2019(5):255-257.

(上接第 81 页)

- [20] VALENCIA E, MÉNDEZ M, SAAVEDRA N, et al. Plant size and leaf area influence phenological and reproductive responses to warming in semiarid Mediterranean species[J]. Perspectives in plant ecology evolution systematics, 2016, 21: 31-40.
- [21] SAVAGE J A. A temporal shift in resource allocation facilitates flowering before leaf out and spring vessel maturation in precocious species[J]. American journal of botany, 2019, 106(1): 113-122.
- [22] 钟新才,余琳,杨培林,等.伊犁河流域节水农业与水土生态安全问题分析[J].新疆农业科学,2008,45(S3):7-9.
- [23] 唐效蓉,李宇珂,复合新,等.马尾松二代种子园无性系开花物候观测[J].林业科学研究,2016,29(3):436-441.
- [24] 唐欣,李新蓉.荒漠子遗植物裸果木的开花物候特征[J].植物学报,2017,52(4):487-495.
- [25] 贾艳红,赵军,南忠仁,等.基于熵权法的草原生态安全评价:以甘肃牧区为例[J].生态学杂志,2006,25(8):1003-1008.
- [26] STAVERT J R, BARTOMEUS I, BEGGS J R, et al. Plant species dominance increases pollination complementarity and plant reproductive function[J]. Ecology, 2019, 100(9): 1-16.
- [27] JOFFARD N, MASSOL F, GRENIÉ M, et al. Effect of pollination strategy, phylogeny and distribution on pollination niches of Euro-Mediterranean orchids[J]. The journal of ecology, 2019, 107(1): 478-490.